

PRÜFUNG DER EXPANSION VON 4 VERSCHIEDENEN EINBETTMASSEN

von
Wolf Unbehauen
aus Nürnberg

1967



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41533903_0106

Aus der Klinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkranke
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. Dr. G. Steinhardt

PRÜFUNG DER EXPANSION VON 4 VERSCHIEDENEN
EINBETTMASSEN

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich-Alexander-Universität
zu
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von Wolf Unbehauen aus Nürnberg

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen
Fakultät der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Professor Dr. Ober

Referent: Professor Dr. Dr. Bock

Correferent: Professor Dr. Dr. Steinhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 4. März 1967

PRÜFUNG DER EXPANSION VON 4 VERSCHIEDENEN EINBETTMASSEN

Inhalt

1) GESCHICHTLICHER ÜBERBLICK	Seite 2
2) DIE METALLSCHRUMPUNG	Seite 4
3) KOMPENSATIONSMÖGLICHKEITEN DER METALLSCHRUMPUNG	Seite 5
a) Die Wachsexpansionsmethode nach van Horn	Seite 5
b) Die Abbindeexpansion	Seite 6
c) Die thermische Expansion	Seite 6
d) Die Kerneinbettung	Seite 8
e) Die hygroskopische Expansion	Seite 9
4) PROBLEMSTELLUNG	Seite 12
5) METHODE	Seite 13
a) Verwendete Metalle	Seite 13
b) Verwendete Einbettmassen	Seite 13
6) NACHPRÜFUNG DER EINBETT- UND EXPANSIONSMETHODEN	Seite 14
I) Einbettungs- und Expansionsarten	Seite 14
a) Die Kerneinbettung	Seite 14
b) Die thermische Expansion	Seite 14
c) Die hygroskopische Expansion	Seite 14
II) Versuchsanordnung	Seite 14
7) ERGEBNISSE	Seite 24
8) DISKUSSION DER ERGEBNISSE	Seite 36
9) ZUSAMMENFASSUNG	Seite 43
10) LITERATURANGABEN	Seite 44

1.) GESCHICHTLICHER ÜBERBLICK

Schon in der Zeit um Christi Geburt wurden Goldgußfüllungen hergestellt. S a v i l l e fand in der Provinz Esmeraldas in Equador Indianerschädel, die aus der Zeit um Christi Geburt stammten und Goldgußfüllungen an den Frontzähnen aufwiesen. Die Füllungen wurden wahrscheinlich aus ästhetischen oder kosmetischen Gründen angefertigt. Über das Herstellungsverfahren dieser Füllungen ist nichts genaues bekannt (F e i n m a n n). Aguilhon de S a r r a n führte 1884 erneut die Gußtechnik in die Zahnheilkunde ein. Die Methode übernahm er von der allgemeinen Gießerei. Er nahm damals mit Wachs Abdruck von einer Kavität. Dieser Wachsabdruck wurde in eine offene Form eingebettet, d.h. eine Fläche des Inlays blieb von der Einbettmasse frei. Das Wachs wurde dann ausgeschwemmt und das Gold, nachdem es geschmolzen war, mit einem Holzstößel in die Form gepreßt.

1904 entwickelte O l l e n d o r f für die Plattenprothetik das Einbetten und Gießen in geschlossener Form mit einem Gußkanal. Das geschmolzene Metall floß durch seine Eigenschwere in die Form. Bei diesen Verfahren wurde aber noch nicht die physikalische Eigenheit aller Metalle berücksichtigt, sich bei der Abkühlung zu kontrahieren. Eine Ausnahme machen lediglich Wismut und Antimon, die bei der Abkühlung Expansion zeigen. Bei industriellen Güssen konnte man einfach die Gußform größer bemessen, um die Abkühlungsschrumpfung des Metalls zu kompensieren. Bei Inlay- oder Kronenarbeiten ist das aber technisch nicht möglich. Es mußten hier andere Wege gefunden werden.

W. H. T a g g a r t machte 1907 auf der 40. Jahresversammlung der New Yorker Odontologischen Gesellschaft mit dem Vortrag "A new and accurate method of making gold inlays" seine Kollegen mit einer neuen Methode zur Herstellung von Zahngußfüllungen bekannt. Er führte zwei bedeutende Neuerungen ein, die bis heute ihre Bedeutung nicht verloren haben. Er bettete seine Modelle in ein Quarzsand-Gips-Gemisch ein, das aus 3 Teilen Quarzsand und einem Teil Gips bestand. Da sich Quarz beim Erhitzen ausdehnt, erreichte er dadurch eine thermische Expansion. Außerdem führte er als erster das Gießen unter Druck ein. Dies hatte 1859 schon der Ingenieur James W o o d vorgeschlagen. Er verwendete komprimiertes Lachgas mit einem Druck von 2 - 4 Atmosphären. Sämtliche heute noch gebräuchlichen Gußverfahren arbeiten nach denselben Prinzipien: Nämlich

1. die Schmelze unter Druck in die Form zu bringen und
2. einen Schwundausgleich der Legierung durch eine Expansion der Einbettmasse zu erreichen.

S o l b r i g erfand im gleichen Jahr seine Dampfdruckzange. Bei ihr wird das flüssige Metall durch Wasserdampf in die Form gedrückt. Für die Entstehung des Wasserdampfes sorgt eine feuchte Asbestscheibe, die mit einem Deckel luftdicht über die Gußmulde gepreßt wird.

Anstelle von Preßluft und Dampfdruck wurde später auch der atmosphärische Luftdruck verwendet (E l - g i n). Dabei wurde der Boden der Muffel luftdicht an einen Vakuumtank angeschlossen. Nachdem das Metall bis zur Spiegelung erhitzt worden war, öffnete man einen Hahn, und der Luftdruck preßte die Schmelze in den Hohlraum.

B a r d e t nützte als erster die Zentrifugalkraft aus, indem er zum Guß die Handschleuder benutzte.

Nun, nachdem die technischen Voraussetzungen für einen Präzisionsguß erfüllt waren, wurde mehr Wert auf die Methoden gelegt, den Ausgleich der Metallschrumpfung zu verbessern.

2.) DIE METALLSCHRUMPUNG =====

Die Metallschrumpfung, die bei Abkühlung des Metalls auftritt, beträgt im Durchschnitt nach S c h e u für verschiedene Goldlegierungen 1,25 %. Inlaygold erreicht nach B o n s a c k eine Kontraktion von 1,5 % bis 1,6 %. Nach S k i n n e r und H o l l e n b a c k muß man mit einer Abkühlungskontraktion von 1,37 % bis 1,65 % rechnen. O e s c h g e r fand Kontraktionen von 1,4 % bis 1,8 %. Die Firma Degussa gibt für ihre Degulorlegierungen Schwindmaße von 1,5 % bis 1,6 % an.

Diese Metallschrumpfung braucht beim Guß aber nicht in allen Fällen ganz ausgeglichen werden. Es kommt dabei auf den Unterschied in der Gußform an, d.h. ob es sich um ein zentrales Inlay, eine Krone oder ein MOD-Inlay handelt. Die Zementschicht muß nach W e i k a r t nämlich 30 μ betragen, damit ein Inlay oder eine Krone eingesetzt werden kann. B e e c k fordert eine Zementschicht von 10 μ - 25 μ Dicke. Bei einem kleinen zentralen Inlay braucht die prozentuale Expansion der Einbettmasse nur wesentlich kleiner zu sein als bei einem MOD-Inlay oder eine Krone, weil die Krone oder das MOD-Inlay praktisch über den Stumpf

und die Zementschicht gehen muß. Bei einem zentralen Inlay muß das Inlay und die Zementschicht die Kavität ausfüllen. Das zentrale Inlay braucht also nur um den Betrag der Zementschicht kleiner sein als die Kavität.

Ein weiterer Unterschied ergibt sich aus der Formgröße des Gußobjektes. Gießt man z.B. ein zentrales Inlay von 2 mm Durchmesser, so darf dieses "prozentual ungenauer" sein als ein Inlay von 4 mm Durchmesser, um bei beiden Fällen die gleiche Spaltbreite zu erreichen.

Zu erwähnen wäre hier noch die sogenannte Pseudokontraktion. Sie hat aber für unsere Arbeit keine Bedeutung, da sie hauptsächlich beim Plattenguß vorkommt; wenn eine Wachsplatte in eine runde Gußmuffel eingebettet wird. Es entstehen dabei 2 dicke Einbettmassestücke, die sich nun unabhängig voneinander ausdehnen. Es wird besonders die Mitte der Platte stark eingeeengt, so daß sie meist schlecht ausfließt.

3.) KOMPENSATIONSMÖGLICHKEITEN DER METALLSCHRUMPUNG =====

Um diesen Fragenkomplex zu lösen, wurden folgende Kompensationsmöglichkeiten für den Ausgleich der Metallschrumpung ausgearbeitet.

- a) Die Wachsexpansionsmethode nach van H o r n : Bei diesem Vorgehen wird das Wachsmo-
dell in ein Wasserbad von 45° Cel.
getaucht. Dabei kommt es zur "Expansion" des Wachsmodells.
Früher wurde diese Methode viel angewandt. M a v e s und
L a s a t e r wiesen aber nach, daß man mit dieser Metho-
de keine Expansion, sondern höchstens eine Deformation er-
reichen kann. M a v e s projizierte Wachsmo-
delle mittels einer punktförmigen Lichtquelle auf einen Bildschirm und
verglich die Bilder, die bei verschiedenen Temperaturen
des Wachsmodells entstanden. Er konnte nur Deforma-
tionen feststellen. Auch nahm das Wachsmo-
dell niemals wieder seine ursprüngliche Form an, wenn

man es nach der Erwärmung wieder auf seine ursprüngliche Temperatur abkühlte.

b) Die Abbindeexpansion:

Mit dieser Methode wird durch bestimmte Zugaben zur Einbettmasse während des Abbindens ein gewisser Grad der Expansion erreicht. Dieser ist aber kaum von großem Einfluß. Moore maß Werte von 0,1 %. Die Hersteller der von uns verwendeten Einbettmassen geben folgende Werte für die Abbindeexpansion ihrer Massen an:

CM Nr. I	0,32 %
Gray Investment	0,26 %
Beauty Cast	0,30 %
Duroterm	0,70 %

Daraus ergibt sich, daß diese geringe Abbindeexpansion nicht genügt, um die Metallschrumpfung auszugleichen.

Eine verlängerte Spatulationszeit ergibt nach Prothero eine vergrößerte Abbindeexpansion. Durch Verlängerung der Anrührzeit von 0,75 Minuten auf 2,0 Minuten trat bei seinen Versuchen eine Vergrößerung der Abbindeexpansion von 0,11 % auf 0,29 % auf. Er erklärte das mit einer Zunahme der Kristallisationskerne, wodurch auch die Zunahme der Expansion der Einbettmasse verbunden sein soll.

c) Die Wärmeexpansion:

Wird eine Einbettmasse erhitzt, so tritt zu der Abbindeexpansion noch die Wärmeexpansion hinzu.

Cosmann erklärt diesen Vorgang durch:

- 1) die thermische Dilatation, die fast jeder Stoff bei Erwärmung zeigt und

2) die Umwandlung des Quarzes in seine Modifikationen Tridymit und Cristobalit, die mit Volumenänderung einhergeht.

Durch diese Wärmeexpansion kann ein genügender Ausgleich der Metallkontraktion mit bestimmten Einbettmassen zumindest theoretisch erreicht werden.

"CM Nr. I" kommt nach Angaben des Herstellers auf eine thermale Expansion von 1,20 %. Dazu kommt die Abbindeexpansion von 0,32 %. Es tritt also eine Gesamtexpansion von 1,52 % auf, die genügen müßte, um eine Metallkontraktion von 1,5 % auszugleichen. Ähnlich sind die Verhältnisse für "Gray Investment", für das eine Gesamtexpansion von 1,38 % angegeben wird. Für "Beauty Cast" wird eine Gesamtexpansion von 1,50 %, für "Duroterm" eine Gesamtexpansion von 1,40 % angegeben. Die thermische Expansion müßte hier also genügen, um die Schrumpfung des Metalls auszugleichen.

Bei diesem Vorgehen muß allerdings darauf geachtet werden, daß sich die Einbettmasse in der Metallmuffel genügend ausdehnen kann. Denn das Muffelmateriale besitzt keine so große Ausdehnung wie die Einbettmasse. S i o n g H a n , S c h u b e r t , E i g e n und J o r g e n s e n verwenden eine Papiermuffel. Dabei ist aber zu bedenken, daß manche Einbettmassen springen, wenn sie ohne Metallmuffel erhitzt werden. F u s a y a m a , A p p e l verwenden Asbeststreifen, die in die Muffel eingelegt werden, um eine ungehinderte Expansion der Einbettmasse zu ermöglichen.

F e i n m a n n empfiehlt dieses reine Wärmeexpansionsverfahren nur für Inlays der Klasse I und V, da mit den meisten Einbettmassen keine genügende

thermische Expansion bei Kronen und MOD-Inlays zu erzielen ist.

Die thermische Expansion kann noch gesteigert werden durch eine Änderung im Wasser-Pulver-Verhältnis. Dabei steigt die Expansion mit der Verkleinerung des Wasser-Pulver-Verhältnisses (F u s a - y a m a , B o n s a c k).

Bei der Vakuumeinbettung tritt nach O e s c h g e r ebenfalls eine Dichtigkeitsvergrößerung ein, so daß der Quarz- oder Cristobalitanteil in der Volumeneinheit vergrößert ist, was wiederum eine größere thermische Expansion ergibt.

d) Die Kerneinbettung:

Das Prinzip der Vergrößerung des Quarz- und Cristobalitanteils in der Volumeneinheit wird bei der sogenannten Kerneinbettung ausgenützt. 1907 schlug erstmals G o s l e e das zweizeitige Einbetten vor. Dabei wird auf das einzubettende Wachsojekt relativ dünnflüssige Einbettmasse blasenfrei aufgebracht. Darauf wird trockene Einbettmasse gestäubt und mit einem Rüttler oder Riffelinstrument eingerüttelt. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis keine trockene Einbettmasse mehr aufgenommen wird. Jetzt wird wieder dünnflüssige Einbettmasse aufgebracht usw. bis ein genügend dicker und sehr dichter "Kern" entsteht. Sobald der Kern vollständig erhärtet ist, wird er in eine, mit der normalen Konsistenz angerührten Einbettmasse, angefüllte Muffel eingebettet. Man erreicht durch die Dichte des Kernes eine sehr gute Expansion und eine relative Freiheit von Gußperlen am Gußobjekt. Völlige Freiheit von Gußperlen ist nach G r a s s l nicht zu erreichen.

e) Die hygroskopische Expansionsmethode:

1920 fand W i l s o n , daß Gips sich 0,04 % über die Abbindeexpansion hinaus durch Aufnahme von Feuchtigkeit aus der Luft ausdehnt. 1932 schlug S c h e u vor, dieses Phänomen auszunutzen. Er führt während des Abbindens der Einbettmasse Wasser zu. So kommt er zu Expansionswerten von 1,2 % bis 2,2 % je nach Art der Einbettmasse. Außerdem machte er die Feststellung, daß die Größe der Ausdehnung vom Wasser-Pulver-Verhältnis und von der Dauer und dem Zeitpunkt des Eintauchens der Muffel in das Wasserbad abhängt. Mit der grünen Einbettmasse von "Ransom & Randolph" erhielt er folgende Resultate: Taucht er 10 Minuten nach dem Beginn des Anrührens die Muffel ins warme Wasserbad, so erhielt er 1,6 % Expansion, nach 11 Minuten 1,5 %, nach 12 Minuten 1,4 % und nach 15 Minuten 1,3 %.

D e g n i wies nach, daß durch eine feuchte Asbestauskleidung der Muffel eine Zunahme der Gesamtexpansion durch hygroskopische Expansion von 0,30 % erreicht werden kann. F e i n m a n n spricht hier von semihygroskopischer Expansion. Die Firma "Whip Mix" regelt die Expansion der Einbettmasse "Beauty Cast" je nachdem, ob Kronen oder Inlays gegossen werden sollen, ebenfalls mit Hilfe von einem oder mehreren Asbeststreifen.

Die nachfolgende Graphik (Abb. 1) zeigt die Expansionskurven der Einbettmasse "Beauty Cast" bei Verwendung ohne Asbeststreifen, bei Verwendung eines Asbeststreifens, bei Verwendung zweier Asbeststreifen und bei Anwendung der vollen hygroskopischen Expansion.

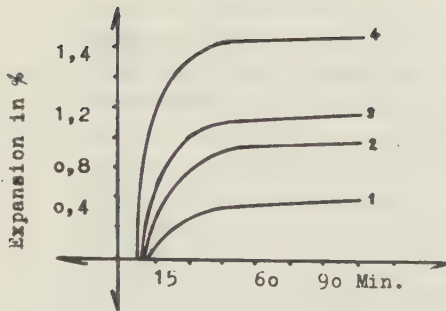


Abb. 1: Änderung der Expansion bei "Beauty Cast" durch die Anzahl der Asbeststreifen.
(Nach einer graphischen Darstellung der Whip-Mix-Corporation)

- 1 Expansion ohne Asbeststreifen
- 2 Expansion mit einem Asbeststreifen
- 3 Expansion mit zwei Asbeststreifen
- 4 Anwendung der vollen hygroskopischen Expansion

Landgren, Docking, Peyton und Taage erhielten die größte hygroskopische Expansion bei sofortigem Eintauchen der noch nicht erhärteten Masse in warmes Wasser. Inwieweit dabei aber die wachsexpansion eine Rolle spielt und es zur Deformation des wachsoberjektes kommt, ist nicht mit Sicherheit nachzuweisen.

Nach Taage spielt die Temperatur des Wasserbads keine Rolle, wohl aber die Temperatur des Anrührwassers, wobei mit dem Ansteigen der Temperatur auch die hygroskopische Expansion ansteigt.

Dreyer-Jorgensen hält die Temperatur des Wasserbads nicht konstant. Er verwendet eine Anfangstemperatur von $45^{\circ} - 60^{\circ}$ Cel. Hollenback und Scheu verwenden Wasser von 37° Cel.

Scheu definiert und erklärt die hygroskopische Expansion folgendermaßen: "Die hygroskopische Expansion ist die gesteigerte Abbindeexpansion, die man erhält, wenn die in Abbildung begriffene Einbettmasse mit Wasser in Verbindung gebracht wird."

D e g n i erklärt das Phänomen der hygroskopischen Expansion mit den kolloidalen-kristallinen Strukturumwandlungen des Gipses bei dessen Abbinden. Wegen der geringen Löslichkeit des Dihydrates fällt dieses während seines Entstehens beim Abbinden des Gipses aus der gesättigten Halbhydratlösung aus. Es bildet sich ein kolloidales Gel, aus dem das Dihydrat in langen Nadeln auskristallisiert. Beim hygroskopischen Abbinden ist der halbfeste Gelzustand zeitlich verlängert. Dadurch werden die sich bildenden Kristalle und damit auch die Abbindeexpansion größer. Nach dieser Erklärung ist also die hygroskopische Expansion eine verlängerte Abbindeexpansion.

1954 wies M a h l e r darauf hin, daß die "hygroskopische Expansion" auch nach Zugabe von Alkohol, Glycerin oder Leichtöl erhalten wird. R y g e erklärt diesen Vorgang folgendermaßen: "Durch Kapillariätswirkung wird der Flüssigkeitsüberschuß in die winzigen Zwischenräume eingesogen, welche sich in der Einbettungsmasse während des Kristallisationsvorganges bilden. Die Flüssigkeit vergrößert die Dicke des Oberflächenbelages sowohl der Füllungsstoffe als auch der Gipskristalle. Durch diese zunehmende Dicke werden die Kristalle auseinandergedrängt, was die Expansion der halbfesten Masse zur Folge hat. Die Kristallbildung geht wie bei gewöhnlichen Abbindebedingungen weiter. Der einzige Unterschied besteht darin, daß sich wegen des vergrößerten interkristallinen Abstandes der Verkeilungseffekt der einzelnen Kristalle weniger auswirkt. Je größer die Oberflächenspannung der benutzten Flüssigkeit ist, umso dicker ist der Oberflächenbelag und umso größer ist die Expansion".

P h i l l i p s lehnt die Wasserbadmethode wie sie S c h e u und D r e y e r - J o r g e n s e n verwenden ab, weil die Gefahr des Freiwerdens von inneren Spannungen zu groß sei.

P e y t o n fand, daß die Größe der hygroskopischen Expansion durch Zugabe einer bestimmten Wassermenge zur sich abbindenden Einbettmasse kontrolliert und begrenzt werden kann. Er gibt mit einer kalibrierten Spritze Wasser zu. Die Menge des zugegebenen Wassers richtet sich nach der Art der benützten Einbettmasse und nach der Größe des Gußstückes.

B e e c k lehnt die hygroskopische Methode ab, weil "eine gleichmäßige Durchdringung der noch nicht abgebundenen Einbettmasse durch das nachträglich zugeführte Wasser nicht erfolgt. Damit kann die Einbettmasse auch nicht gleichmäßig hygroskopisch expandieren". Er stützt sich dabei auf die Versuche von A n s k e , der nachwies, daß die Wasseraufnahme der Einbettmasse umso geringer ist, je weiter die Einbettmasse von dem Ort entfernt ist, an dem das Wasser zugegeben wurde.

4.) PROBLEMSTELLUNG

=====

Aus der Literaturübersicht geht hervor, daß es verschiedene Wege gibt, die richtige Expansion einer Einbettmasse zu erreichen. Welche dieser Methoden nun für Gold und für eine Silberlegierung die richtige ist, und wie sie am zweckmäßigsten zu erreichen ist, soll die Aufgabe dieser Arbeit sein, wobei 4 verschiedene handelsübliche Einbettmassen verwendet werden.

5.) METHODE

=====

Mit 4 Einbettmassen soll unter Ausnutzung von einfachen Mitteln eine Methode zur Herstellung von möglichst genau passenden Kronen gefunden werden. Dabei wurden je 5 Kronen pro Metall, Einbettmasse und Expansionsmethode gegossen.

a) Verwendete Metalle:

- | | |
|--------------|---------------------------|
| 1) Silca | Schwindmaß: 1,3 % |
| 2) Degulor A | Schwindmaß: 1,5 % - 1,6 % |

b) Verwendete Einbettmassen:

1) Duroterm

der Firma Bayer/Leverkusen mit einer Abbindeexpansion von 0,7 % und einer thermischen Expansion von 0,7 %, also einer Gesamtexpansion von 1,4 %. Das Wasser-Pulver-Verhältnis beträgt 30 : 87.

2) Beauty Cast

der Whip Mix Corporation/Louisville 8/USA mit einer Abbindeexpansion von 0,30 %, einer thermischen Expansion von 1,20 % und einer hygroskopischen Expansion von 1,05 %, also einer Gesamtexpansion bei der thermischen Methode von 1,50 %. Die Gesamtexpansion für die hygroskopische Expansionsmethode beträgt 1,6 %. Das Wasser-Pulver-Verhältnis beträgt 30 : 100.

3) Gray Investment

der Ransom & Randolph Company Toledo/Ohio/USA mit einer Abbindeexpansion von 0,26 % und einer thermischen Expansion von 1,08 %, also einer Gesamtexpansion von 1,34 %. Das Wasser-Pulver-Verhältnis beträgt 25 : 100.

4) CM-Einbettungsmasse Nr. I

Der Firma Cendres-Metalse SA/Biel mit einer Abbindeexpansion von 0,32 % und einer thermischen Expansion von 1,20 %, also einer Gesamtexpansion von 1,52 %. Das Wasser-Pulver-Verhältnis beträgt 31 : 100.

6.) NACHPRÜFUNG DER EINBETT- UND EXPANSIONSMETHODEN
=====

I. Einbettungs- und Expansionsarten:

a) Kerneinbettung:

Die Kerneinbettung wurde oben schon beschrieben (siehe Seite 8)

b) Thermische Expansion:

Dabei wird die Einbettmasse im vom Hersteller angegebenen Verhältnis angemischt und in die Muffel eingebracht. Nach Abbindung an der Luft wird das Wachs ausgetrieben und die Muffel auf Gußtemperatur erhitzt.

c) Hygroskopische Expansion:

Bei der hygroskopischen Expansion wird zunächst genau so wie bei der thermischen Expansion vorgegangen. Man stellt aber nach dem Einbringen der Einbettmasse in die Muffel dieselbe mitsamt dem Einbettsockel in ein Wasserbad von 35° Cel. Nach dem Abbinden unter Wasser wird wieder wie bei der thermischen Methode verfahren.

Wir wählten die Wassertemperatur von 35° Cel. aus folgendem Grund: D r e y e r - J o r g e n s e n taucht die Muffel in Wasser von 45 - 50° Cel.

Dabei kommt es aber, wenn die Einbettmasse noch nicht abgebunden hat, zum Freiwerden von Spannungen im Wachs und damit auch zur Deformation des Wachsmodells (Maves, Lasater). Wählt man dagegen die Temperatur des Wasserbads unterhalb der Plastifizierungsgrenze des Waxes, die bei den gebräuchlichen Gußwachsen über der Körpertemperatur von 37° Cel. liegt, so kann es in dem kurzen Zeitraum der Erstarrung der Einbettmasse nicht zur Deformation des Wachsmodells kommen, besonders da das Wachsmodell schon vorher in Wasser von gleicher Temperatur entspannt wurde.

II. Versuchsanordnung

Die Wachsmodelle wurden auf einem kegelförmigen Stumpf aus rostfreiem Stahl angefertigt. An der Basis des Stumpfes beträgt der Durchmesser 8,55 mm, am oberen Ende 7,76 mm. Seine Höhe beträgt 7 mm, die Breite der Stufe 0,5 mm. Es ergibt sich so ein Konvergenzwinkel der Schrägflächen von $6^{\circ} 30'$.

Würde man einen größeren Winkel wählen, so dürfte die prozentuale Ungenauigkeit größer sein als bei einem kleineren Winkel, bei dem sie kleiner sein müßte, um die gleiche klinische Präzision = Spaltbreite zu erhalten.

Um dies genau zu erklären, muß etwas weiter ausgeholt werden.



Abb. 2 a

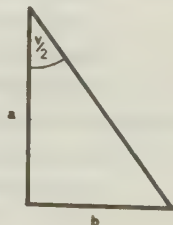


Abb. 2 b

Abb. 2 a zeigt das Schnittbild des Stumpfes mit einer aufgesetzten Krone, die zu klein ist.

Abb. 2 b

v = Winkel zwischen den gegenüberliegenden Flächen der Präparation

a = Spaltbreite = klinische Ungenauigkeit

b = Maß der prozentualen Ungenauigkeit

Ist die Gußkrone zu klein, so entsteht wie aus Abb. 2 a ersichtlich ein Spalt zwischen der Stufe des Stumpfes und dem unteren Kronenrand (= klinische Ungenauigkeit). Die prozentuale Ungenauigkeit b ist die Strecke, um die der Radius der Krone kleiner ist als der Radius der Basis des Stumpfes.

Es kann nun das Verhältnis zwischen klinischer und prozentualen Ungenauigkeit durch folgende Formel ausgedrückt werden:

$$\begin{aligned} a &= b \cotg \frac{v}{2} \\ \text{oder} \\ a &= \frac{p R \cotg \frac{v}{2}}{100} \end{aligned}$$

wobei p die prozentuale Ungenauigkeit ist und R der halbe Durchmesser an der Basis der Präparation. Aus dieser Formel ersieht man also:

Die klinische Ungenauigkeit ist proportional

- 1) der prozentualen Ungenauigkeit
- 2) des Durchmessers des Stumpfes
- 3) des Cotangens des halben Konvergenzwinkels.

Der $\cotg \frac{v}{2}$ wächst mit abnehmenden Winkel stark. Wenn also der Konvergenzwinkel sehr klein ist, wird eine zu kleine Krone eine besonders schlechte klinische Präzision mit sich führen, d.h. der Spalt an der Stufe wird besonders groß sein.

Bei unserem Stumpf zeigt sich also ein verhältnismäßig großer Spalt bei einer nur kleinen Abweichung der Krone vom Wachsmo-
dell, da der Konvergenzwinkel mit $6^{\circ} 30'$ relativ klein ist.

D r e y e r - J o r g e n s e n hält eine klinische Präzision für genügend, wenn der Spalt

- 1) nicht mehr mit dem Auge gesehen werden kann und
- 2) mit der Sonde kein Spalt noch Überschuß gespürt werden kann.

Dies trifft zu, wenn die Spaltbreite 0 - 50 μ nicht überschreitet. Die Erfahrung zeigt, daß hier keine Sekundärkaries auftritt.

Auf diesem Stumpf wird eine Kappe aus weißem Gußwachs der Firma Renfert von 0,5 mm Stärke modelliert. Dabei wird folgendermaßen vorgegangen:

Zunächst wird der Stumpf mit Chloroform entfettet, dann zur Isolierung eine dünne Schicht Xynon aufgesprüht. Das Plattenwachs wird in einem Wasserbad von 55° - 60° Cel. gleichmäßig erwärmt und erweicht. Eine Manschette aus Wachs wird dem Stumpf aufgedrückt, zurechtgeschnitten, zusammengeschmolzen und ein Deckel aufgeschmolzen. Außerdem wird noch ein Fenster in die Krone geschnitten. Damit kann später kontrolliert werden, ob und an welchen Stellen die Krone nicht genau anliegt (Abb. 3).

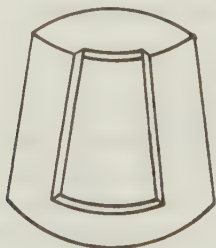


Abb. 3: zeigt das Wachsmodell mit dem eingeschnittenen Fenster.

Als Gußstift wird ein 3 mm starker Wachsdraht der Firma Dentaureum/Pforzheim verwendet. Er wird angespitzt und in einem Winkel von 135° an die Oberkante der Krone angeschmolzen (K u b a s c h , E i c h n e r , B o n s a c k). Damit soll erreicht werden, daß das Metall ohne große Richtungsänderung, die es abbremsen und dadurch Anlaß zur vorzeitigen Erstarrung geben würde, in die Form einschließen kann. Angespitzt wird der Gußstift deshalb, weil beobachtet wurde, daß sich normalerweise Lunker an der etwas dickeren Ansatzstelle des Gußstiftes bildeten. Man kann dieses Phänomen als lokalisierten Schrumpfungsprozeß deuten. Die etwas dickere Ansatzstelle wirkt als verllorener Kopf. Es werden dabei tiefer schmelzende Legierungsbestandteile von der schon früher erstarrenden Krone abgesaugt. J o y erklärt diese Lunker als Folge von Wirbelbildungen.

Wir der Gußstift dagegen angespitzt und das Wachsmode'll entsprechend eingebettet - das Wachsmode'll soll unterhalb der Mitte der Muffel liegen - so befinden sich die Lunker oberhalb der dünnen Stelle im Gußstift. Eine genaue Erklärung dieser Tatsache gibt es nicht. Sie ließe sich vielleicht als Folge einer Wirbelbildung erklären.

Bei unseren Versuchen konnte man diese Tatsache mit dem bloßen Auge feststellen. Die Gußstifte zeigten in den meisten Fällen oberhalb der dünnen Verschmelzungsstelle mit der Krone oberflächlich Poren. Genauere Untersuchungen wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht ausgeführt.

Das Wachsmode'll wird auf dem Stumpf 15 Minuten in ein Wasserbad von ungefähr 35° Cel. gestellt, damit die Spannungen des Wachses, die beim Modellieren entstanden sind, ausgeglichen werden (R i e t h e , K u b a s c h).

Das Wachsmode'll wird dann vorsichtig vom Stumpf abgehoben und auf dem Degussa-Einbettsockel befestigt. Dabei ist darauf zu achten, daß der Gußstift nicht zu lang oder zu kurz ist. Es soll nämlich das Wachsmode'll 5-6 mm vom Boden der Muffel entfernt sein, damit beim Guß die Luft aus der Form entweichen kann.

Muß die Luft durch eine dickere Schicht als 5 bis 6 mm Einbettmasse, so wird sie vom einschließenden Metall nicht vollständig verdrängt und die Krone fließt nicht ganz aus.

Entspannt und entfettet wird die Oberfläche des Wachsmodells mit "Kerr's Vacuifilm".

Die Muffel wird nun mit einem Asbeststreifen ausgekleidet. Dabei braucht der Asbeststreifen nur in den Teil der Muffel gelegt zu werden, in dem sich das Wachsmodell befindet. Der Asbeststreifen wird mit Vaseline eingefettet (F u s a y a m a). Es soll damit verhindert werden, daß aus der Einbettmasse Wasser gesogen wird, wenn der Asbeststreifen trocken eingebracht wird. Es kann dann auch kein Wasser an die Einbettmasse abgegeben werden, wenn der Streifen angefeuchtet wird. Dadurch würde nämlich das Mischungsverhältnis verfälscht und eine ungewollte und unkontrollierte hygroskopische Expansion entstehen.

Nach Untersuchungen von Schw i n d l i n g bekommt man bei Verwendung eines Asbeststreifens eine glattere Oberfläche des Gußobjekts. Er erklärt dieses Ergebnis folgendermaßen: Der Wasserdampf kann sich hier nach allen Richtungen ausbreiten und muß nicht, wie bei der Einbettung ohne Asbeststreifen durch den Gußkanal entweichen. Dabei werden "Wasserdampfmikroexplosionen" vermieden, die zu einer Aufrauhung der Hohlforminnenwand führen würden. Die Oberfläche des Gußes wird daher in diesem Fall glatter als bei Einbettung ohne Asbeststreifen. Zu noch besseren Ergebnissen in Bezug auf die Oberflächenrauigkeit kommt S c h w i n d l i n g bei Verwendung von Fließpapier an Stelle des Asbeststreifens. Es wird hier überhaupt kein Wasser mehr durch den Gußkanal abgegeben. Dieses wird vom Fließpapier aufgesogen und kann somit auf die Innenwand der Hohlform nicht einwirken. Die so vorbereitete Muffel wird in den entsprechenden ringförmigen Spalt im Einbettsockel gesteckt und mit Einbettmasse gefüllt.

Die Einbettmasse wird dazu im vom Hersteller vorgeschriebenen Verhältnis mit abgestandenem Wasser, wie U h l e n h u t e s zur Vermeidung von Blasenbildung vorschlägt, angemischt. Die abgewogene Einbettmasse und das abgemessene Wasser wird in den "Vac-U-Spat" der Whip Mix Corporation eingebracht. In

diesem Gerät wird die Einbettmasse unter Vakuum so lange gemischt, bis keine großen Blasen mehr aufsteigen.

Wir verwenden dabei ein Vakuum von 10 mm Hg, das nach Feststellungen von O e s c h g e r genügt. Dieses Vakuum wird mit Hilfe einer Wasserstrahlpumpe erreicht. Da der Raum in der Pumpe stets gesättigten Wasserdampf enthält, kann mit der Wasserstrahlpumpe kein geringerer Druck als der Sättigungsdruck des Wassers erreicht werden. Dieser beträgt bei Zimmertemperatur etwa 10 mm Hg (O e s c h g e r).

Auf direktes Evakuieren der Muffel, wie es von P h i l l i p s , O e s c h g e r und H o l l e n - b a c k vorgeschlagen wird, muß verzichtet werden, da die im vorgeschriebenen Mischungsverhältnis angemischten Einbettmassen zu dickflüssig sind, um sich in der verhältnismäßig hohen Muffel ausreichend evakuieren zu lassen. Die Muffel, die auf einem Vibrator steht, wird dann mit der so vorbereiteten Einbettmasse aufgefüllt. Man läßt nun die Einbettmasse an der Luft, bzw. im Wasser von 36° Cel. bei der hygroskopischen Methode, die von der jeweiligen Herstellerfirma angegebene Zeit abbinden.

Anschließend wird vorsichtig bei 300° Cel. in einem automatisch mit Thermostat geregelten elektrischen Vorwärmofen 1/2 Stunde lang das Wachs ausgeschmolzen und die Muffel ausgetrocknet. Dann wird langsam im Zeitraum einer weiteren halben Stunde der Vorwärmofen auf 700° Cel. für den Goldguß, bzw. auf 600° Cel. für den Guß mit Silca, aufgeheizt (D e g u s s a , F a l c k - W e i k a r t). Hat die Muffel die erforderliche Gußtemperatur erreicht, was nach weiteren 20 - 30 Minuten der Fall ist, wird gegossen.

Wir verwenden dazu die elektrisch beheizte Degussa-Tiegelschleuder, um immer gleichwertige Erhitzung und gleichmäßiges Schmelzen des Metalls zu erreichen. Dabei wird genau nach der Vorschrift der Firma De-

gussa gearbeitet: Die Tiegelschleuder wird durch 3-maliges Umdrehen des horizontalen Trägers im Uhrzeigersinn gespannt und durch die Haltevorrichtung festgehalten. Der Elektroofen der Schleuder wird eine halbe Stunde vorgewärmt. Geschmolzen wird wie folgt: Die Spannung wird durch Drehen am Widerstand so weit erhöht, daß der Zeiger des Spannungsmessers auf der roten Marke steht. Der Kohletiegel wird dann 2 Minuten im Vorwärmofen vorgewärmt, mit Gußmetall gefüllt und wieder in den Ofen eingeschoben. Das Metall wird beobachtet. Spiegelt die Oberfläche, so wird noch 10 Sek. weiterernitzt. Nach Abnahme der Kontaktzange wird die Kuvette aus dem Vorwärmofen genommen und auf das Kuvettenlager der Schleuder gesetzt. Nachdem der Kohletiegel an die Kuvette herangeschoben ist, wird die Schleuder ausgerastet.

Die Vorteile dieses Verfahrens sind folgende:

- 1) Das Gussgut wird indirekt in einem Kohletiegel mit Bodenloch geschmolzen. Eine Überhitzung des Metalls ist dadurch praktisch ausgeschlossen. Grobkristallisation, Inhomogenität und Porenbildung werden so weitgehend vermieden.
- 2) Das Schmelzen geht in reduzierender Atmosphäre vor sich. Das Schmelzgut kann daher nicht oxydieren. Die glühende Kohle bindet den Luftsauerstoff zu Kohlenmonoxyd, das sich schützend als Schleier über die Schmelze legt, so daß diese keine schädlichen Gase aufnehmen kann.

Da keine Überhitzung und keine Oxydation auftritt, lassen sich Edelmetalllegierungen verlustlos schmelzen. Beim Schmelzen mit der offenen Flamme in der Kuvettenmulde ist hingegen mit einem Schmelzverlust bis zu 1% zu rechnen.

- 3) Die Gußform befindet sich bis zur Beendigung des Schmelzvorganges im Vorwärmofen. Sie behält dadurch die gewünschte Temperatur und eine gleichmäßige Expansion bei, so daß gut passende Güsse zu erwarten sind.

- 4) Nach Beendigung der Wärmezufuhr bleibt die Schmelze noch längere Zeit im Kohletiegel flüssig. Die Kuvette kann deshalb ohne große File aus dem Vorwärmofen herausgenommen werden und in die Schleuder eingelegt werden.
- 5) Der Gußkanal kann beliebig weit gehalten werden, weil horizontal geschleudert wird. Bei entsprechend stark gewählten Gußkanälen sind daher verlorene Köpfe überflüssig.
- 6) Die Erstarrung der Schmelze beginnt beim Werkstück und schreitet zum Gußkegel hin fort, da der glühende Boden des Kohletiegels diesen auch nach dem Guß noch eine Zeitlang flüssig hält. Das Gußstück kann daher Schmelze nachsaugen und lunkerfrei erstarren.

Im Gegensatz hierzu geht beim Schmelzen auf der Einbettmasse mit direkter Flamme die Abkühlung in umgekehrter Richtung vor sich. Der Gußkegel erstarrt bei diesem Verfahren zuerst (siehe Abb.4).

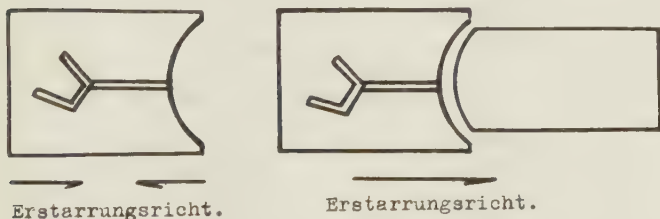


Abb. 4. zeigt die Erstarrungsrichtungen bei Erhitzung mit direkter Flamme und bei Verwendung eines Kohletiegels.

Nach dem Guß läßt man die Muffel an der Luft auf Zimmertemperatur abkühlen. Dann werden die Gußobjekte ausgebettet und von Einbettmasse befreit. Ein Absäuern und Entfernen von Gußperlen erübrigt

sich, da nach der geschilderten Einbettmethode die Kronen blank und fast immer ohne Gußperlen aus der Einbettmasse herausgebracht werden können.

Jede Krone wird dann auf den Metallstumpf aufgesetzt und der Spalt zwischen der Stufe des Stumpfes und dem Unterrand der Krone unter dem Meßmikroskop der Firma "Zeiss", das eine Meßgenauigkeit von 12 μ zuläßt, ausgemessen. Die größte und die kleinste Spaltbreite je Krone wird notiert. Das Mittel aus diesen beiden Zahlen wird als Ergebnis verwendet.

7.) ERGEBNISSE:
=====

Tabelle I

Die Spaltbreiten betragen bei

1) Duroterm

a) Kerneinbettung

Silca	Degulor A
0,012 mm	0,036 mm
0,024 mm	0,060 mm
0,024 mm	0,000 mm
0,012 mm	0,036 mm
0,048 mm	0,024 mm

b) Hygroskopische Expansion

Silca	Degulor A
0,084 mm	0,084 mm
0,084 mm	0,108 mm
0,048 mm	0,121 mm
0,024 mm	0,072 mm
0,193 mm	0,084 mm

c) Thermische Expansion

Silca	Degulor A
0,145 mm	0,169 mm
0,108 mm	0,205 mm
0,157 mm	0,181 mm
0,266 mm	0,193 mm
0,169 mm	0,181 mm

2) Beauty Cast

a) Kerneinbettung

Silca	Degulor A
0,000 mm	0,024 mm
0,012 mm	0,036 mm
0,000 mm	0,012 mm
0,024 mm	0,012 mm
0,024 mm	0,012 mm

b) Hygroskopische Expansion

Silca	Degulor A
0,024 mm	0,036 mm
0,048 mm	0,024 mm
0,048 mm	0,024 mm
0,024 mm	0,036 mm
0,000 mm	0,036 mm

c) Thermische Expansion

Silca	Degulor A
0,036 mm	0,084 mm
0,072 mm	0,084 mm
0,072 mm	0,072 mm
0,048 mm	0,060 mm
0,048 mm	0,072 mm

3) Gray Investment

a) Kerneinsbettung

Silca	Degulor A
0,072 mm	0,024 mm
0,048 mm	0,048 mm
0,036 mm	0,048 mm
0,036 mm	0,036 mm
0,060 mm	0,036 mm

b) Hygroskopische Expansion

Silca	Degulor A
0,121 mm	0,169 mm
0,181 mm	0,157 mm
0,181 mm	0,193 mm
0,193 mm	0,193 mm
0,217 mm	0,181 mm

c) Thermische Expansion

Silca	Degulor A
0,181 mm	0,229 mm
0,217 mm	0,242 mm
0,205 mm	0,254 mm
0,217 mm	0,217 mm
0,193 mm	0,278 mm

4) CM Nr. I

a) Kerneinbettung

Silca	Degulor A
0,012 mm	0,021 mm
0,036 mm	0,000 mm
0,024 mm	0,000 mm
0,000 mm	0,021 mm
0,000 mm	0,021 mm

b) Hygroskopische Expansion

Silca	Degulor A
0,036 mm	0,072 mm
0,072 mm	0,048 mm
0,024 mm	0,060 mm
0,024 mm	0,060 mm
0,108 mm	0,048 mm

c) Thermische Expansion

Silca	Degulor A
0,048 mm	0,133 mm
0,096 mm	0,145 mm
0,096 mm	0,108 mm
0,072 mm	0,121 mm
0,036 mm	0,133 mm

Tabelle II

Ergebnisse nach der Größe der durchschnittlichen Spaltbreite geordnet

	Einbettmasse	Methode	Metall	Spaltbreite	Streuung in %
1	CM Nr. I	Kern.	Deg.A.	0,007 mm	0,01
2	Beauty Cast	Kern.	Silca	0,012 mm	0,03
3	CM Nr. I	Kern.	Silca	0,014 mm	0,05
4	Beauty Cast	Kern.	Deg.A.	0,019 mm	0,03
5	Duroterm	Kern.	Silca	0,024 mm	0,05
6	Beauty Cast	Hygr.E.	Silca	0,029 mm	0,06
7	Duroterm	Kern.	Deg.A.	0,031 mm	0,08
8	Beauty Cast	Hygr.E.	Deg.A.	0,031 mm	0,01
9	Beauty Cast	Hygr.E.	Silca	0,036 mm	0,06
10	Gray Investm.	Kern.	Deg.A.	0,038 mm	0,06
11	Gray Investm.	Kern.	Silca	0,051 mm	0,05
12	CM Nr. I	Hygr.E.	Silca	0,053 mm	0,11
13	Beauty Cast	Therm.E.	Silca	0,056 mm	0,05
14	CM Nr. I	Hygr.E.	Deg.A.	0,059 mm	0,05
15	CM Nr. I	Therm.F.	Silca	0,070 mm	0,06
16	Beauty Cast	Therm.E.	Deg.A.	0,075 mm	0,03
17	Duroterm	Hygr.E.	Silca	0,087 mm	0,22
18	Duroterm	Hygr.E.	Deg.A.	0,094 mm	0,06
19	CM Nr. I	Therm.E.	Deg.A.	0,128 mm	0,05
20	Duroterm	Therm.E.	Silca	0,161 mm	0,20
21	Gray Investm.	Hygr.E.	Silca	0,176 mm	0,12
22	Gray Investm.	Hygr.E.	Deg.A.	0,178 mm	0,03
23	Duroterm	Therm.E.	Deg.A.	0,186 mm	0,05
24	Gray Investm.	Therm.E.	Silca	0,199 mm	0,05
25	Gray Investm.	Therm.E.	Deg.A.	0,243 mm	0,06

Um eine bessere Übersicht der Ergebnisse zu bekommen, wurden in den Abb. 5, 6, 7 die verschiedenen Einbettungsarten für die einzelnen Materialien graphisch dargestellt.

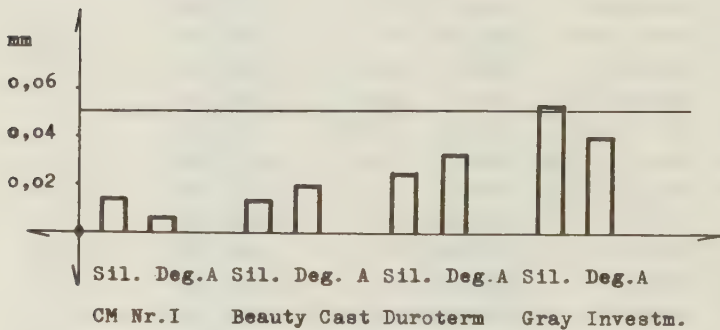


Abb. 5 zeigt die durchschnittlichen Spaltbreiten bei der Kerneinbettung für die 4 verwendeten Einbettmassen.

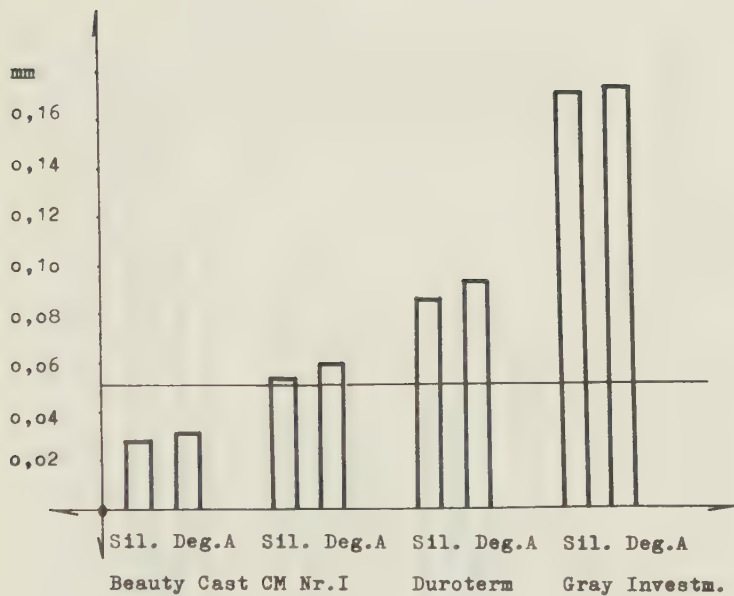


Abb. 6 zeigt die durchschnittlichen Spaltbreiten bei der hygroskopischen Expansion für die 4 verwendeten Einbettmassen.

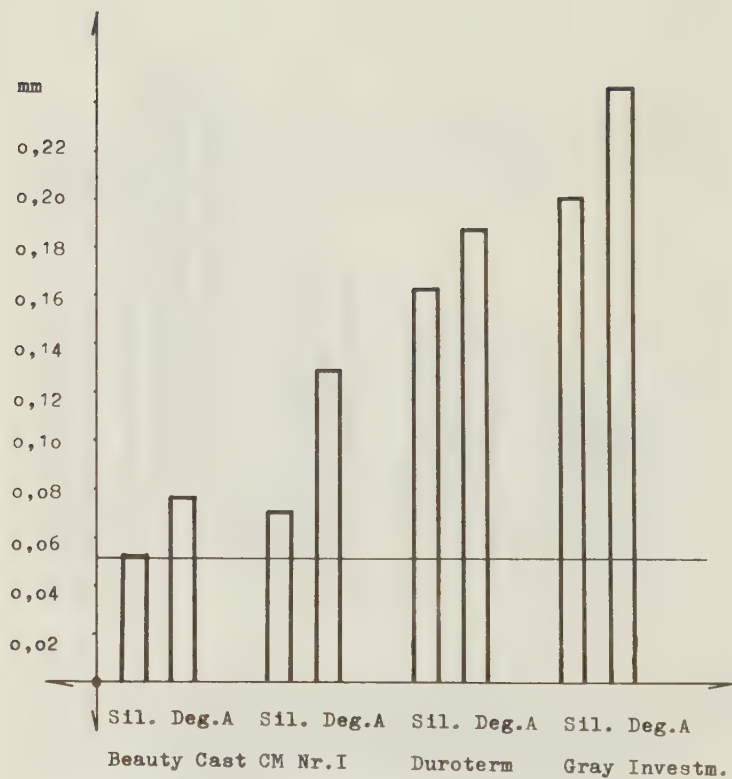


Abb. 7 zeigt die durchschnittlichen Spaltbreiten bei der thermischen Expansionsmethode für die 4 verwendeten Einbettmassen.

Für die untersuchten Einbettungsmassen zeigen die nachfolgenden Graphiken (Abb. 8, 9, 10, 11) die unterschiedliche Auswirkung der Einbettungsart auf die Spaltbreiten.

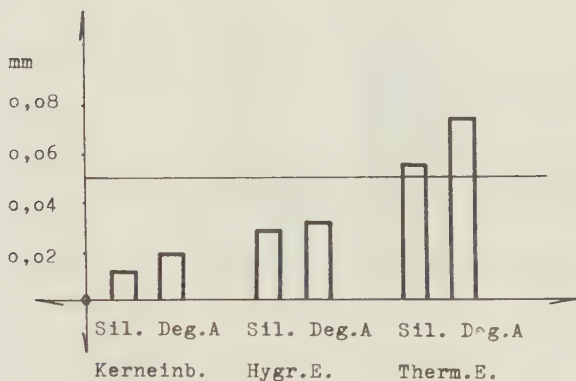


Abb. 8 zeigt die durchschnittlichen Spaltbreiten der verschiedenen Einbettungsarten bei Verwendung von "Beauty Cast".

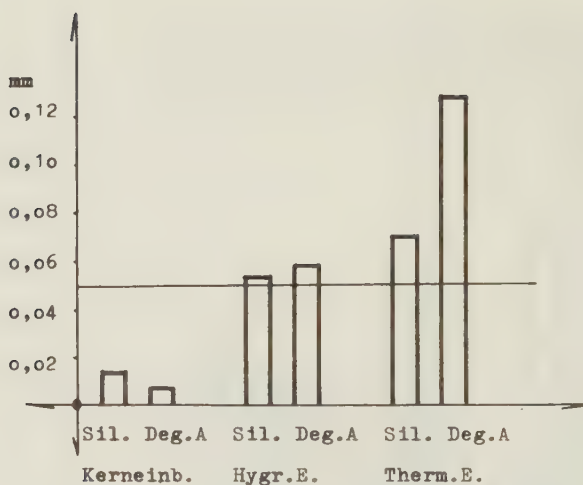


Abb. 9 zeigt die durchschnittlichen Spaltbreiten der verschiedenen Einbettungsarten bei Verwendung von "CM Nr. I".

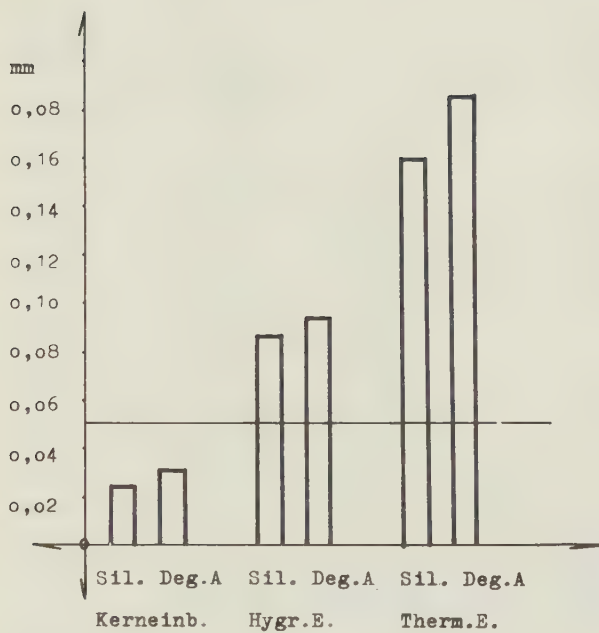


Abb. 10 zeigt die durchschnittlichen Spaltbreiten der verschiedenen Einbettungsarten bei Verwendung von "Duroterm".

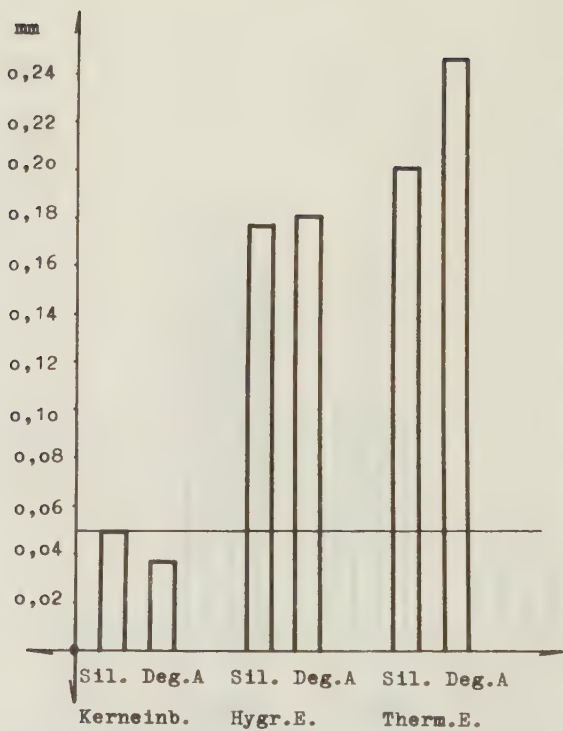


Abb. 11 zeigt die durchschnittlichen Spaltbreiten der verschiedenen Einbettungsarten bei Verwendung von "Gray Investment".

8.) DISKUSSION DER ERGEBNISSE:

=====

B e e c k hat innerhalb seiner Versuchsreihen Schwan-
kungsbreiten von 0,2 %. T a e g e gibt eine Streuung
von 0,1 % an. Nach D r e y e r - J o r g e n s e n
ist der größtmögliche Grad der Präzision erreicht,
wenn der Gußfehler nicht mehr als 0,1 % - 0,2 % be-
trägt.

Bei unseren Versuchen können wir von 25 Untersuchungs-
reihen (siehe Tabelle II Seite 28) eine Streuungsbrei-
te bei 20 Reihen bis 0,06 % nachweisen, 0,08 % bei
einer Untersuchungsreihe, 0,11 % und 0,12 % bei zwei
Untersuchungsreihen und 0,20 % und 0,22 % bei weite-
ren zwei Untersuchungsreihen.

Dabei handelt es sich bei letzteren um die Kernein-
bettungsmethode bei "Duroterm" sowohl bei Silca als
auch bei Degulor A. Die Werte 0,11 % und 0,12 % wur-
den bei zwei hygroskopischen Methoden gefunden, näm-
lich bei "CM Nr. 1" mit Silca und "Gray Investment"
mit Silca.

In 20 von 25 Versuchsreihen ist also bei unseren Ver-
suchen die Streuungsbreite mit 0,06 % wesentlich ge-
ringer als bei T a e g e mit 0,1 %. Nimmt man die
Untersuchungsreihen von B e e c k und D r e y e r -
J o r g e n s e n als Maßstab, so ist praktisch bei
allen unseren Untersuchungsreihen die Streuungsbreite
im Bereich der Norm.

Es wurde ferner festgestellt, daß die Kronen nicht
abgesäuert werden brauchten, da sie relativ glatt
und ohne Oxydschicht ausgebettet werden konnten. Am
besten schnitt dabei die Einbettmasse "Beauty Cast"
ab. Es konnten hier die Kronen "glänzend" ausgebet-
tet werden. Bei den übrigen Einbettmassen waren die
Kronen beim Ausbetten "matt". Dabei bestand bei allen

Einbettmassen kein Unterschied zwischen Silca und Degulor A.

Gußperlen waren im allgemeinen nicht vorhanden, da alle Einbettmassen evakuiert wurden. Lediglich bei der Kerneinbettung wurden mitunter kleine Gußperlen festgestellt, die sich aber mit einem Stichel mühelos entfernen ließen, ohne daß die Kronen beschädigt wurden.

Das beste Ergebnis wurde durch die Einbettmasse "CM Nr. I" mit der Kerneinbettung erzielt. Die durchschnittlichen Spaltbreiten betrugen hier 0,014 mm bei Silca und 0,007 mm bei Degulor A. An zweiter Stelle folgt die Kerneinbettungsmethode bei Verwendung von "Beauty Cast" mit durchschnittlichen Spaltbreiten von 0,012 mm bei Silca und 0,019 mm bei Degulor A. Durchschnittliche Spaltbreiten von 0,024 mm bei Silca und 0,031 mm bei Degulor A wurden für die Kerneinbettungsmethode bei Verwendung von "Duroterm" gemessen. Es folgen mit durchschnittlichen Spaltbreiten von 0,036 mm bei Silca und 0,031 mm bei Degulor A die hygroskopische Expansionsmethode mit "Beauty Cast", mit Spaltbreiten von 0,051 mm bei Silca und 0,038 mm bei Degulor A die Kerneinbettmethode von "Gray Investment", mit Spaltbreiten von 0,053 mm bei Silca und 0,059 mm bei Degulor A die hygroskopische Expansionsmethode der Einbettmasse "CM Nr. I".

Bei der hygroskopischen Expansionsmethode der Finbettmasse "Beauty Cast" war zu beachten, daß sowohl bei Silca als auch bei Degulor A 50 % der Kronen nicht vollständig ausflossen. Besonders die dünne Spange unterhalb des in die Krone geschnittenen Fensters floß nicht aus, wenn man sich genau an die Vorschrift der Whip Mix Corporation hielt und die Einbettmasse auf nur $900^{\circ}\text{F} = 482^{\circ}\text{Cel.}$ erhitze. Dies kann mit der niedrigen Vorwärmtemperatur erklärt wer-

den. Das Metall wird dabei auf dem Weg in die Form so stark abgekühlt, daß es nicht mehr dünnflüssig genug ist, um die relativ feine Spange am unteren Rand der Krone auszufüllen. Zum anderen könnte es auch daran gelegen haben, daß die Einbettmasse bei der niedrigen Vorwärmtemperatur noch nicht ganz ausgetrocknet war. Diese Möglichkeit erscheint aber unwahrscheinlich, da die Temperatur des Ofens nicht nur 30 Minuten auf der Vorwärmtemperatur gehalten wurde, wie bei den übrigen Güssen, sondern 60 Minuten. Auch bei der Herausnahme der Muffel aus dem Ofen waren keinerlei Dampfbildung oder sonstige Anzeichen vorhanden, daß die Einbettmasse noch nicht ganz ausgetrocknet war. Der Metalldruck war genügend, da pro Guß ungefähr 5 gr Metall verwendet wurden.

Die Versuchsreihe wurde wiederholt und die Muffel auf 650° Cel. vorgewärmt. Jetzt floß jede Krone vollständig aus. Dabei konnte durch die etwas vergrößerte thermische Expansion eine bessere Paßgenauigkeit erzielt werden und zwar eine durchschnittliche Spaltbreite von 0,029 mm bei Verwendung von Silca und 0,031 mm bei Verwendung von Degulor A.

Es folgten die thermischen Methoden mit den Einbettmassen "Beauty Cast" - Spaltbreiten von 0,056 mm bei Silca und 0,075 mm bei Degulor A - und "CM Nr. I" mit durchschnittlichen Spaltbreiten von 0,070 mm bei Verwendung von Silca und 0,128 mm bei Verwendung von Degulor A. Die hygroskopische Expansionsmethode zeigte bei "Duroterm" Spaltbreiten von 0,087 mm (Silca) und 0,094 mm (Degulor A). An letzter Stelle lag "Gray Investment". Die hygroskopische Methode mit Spaltbreiten von 0,176 mm bei Silca und 0,178 mm bei Degulor A schnitt dabei noch etwas besser ab als die thermische Methode mit durchschnittlichen

Spaltbreiten von 0,199 mm bei Silca und 0,243 mm bei Degulor A.

Der Mittelwert der Spaltbreiten aller Kerneinbettungen beträgt 0,024 mm. (Abb. 5) Der Mittelwert aller Spaltbreiten bei der hygroskopischen Expansionsmethode beträgt 0,087 mm (Abb. 6) und bei der thermischen Expansionsmethode 0,139 mm (Abb. 7).

Es zeigt also im Vergleich zu den anderen beiden Expansionsmethoden die Kerneinbettung die größte Paßgenauigkeit. Nur die hygroskopische Expansionsmethode von "Beauty Cast" zeigt mit 0,029 mm (Silca) und 0,031 mm (Degulor A) kleinere Spaltbreiten als die schlechteste Kerneinbettungsmethode, nämlich bei Verwendung von "Gray Investment" wo die durchschnittliche Spaltbreite bei Verwendung von Silca 0,051 mm und bei Verwendung von Degulor A 0,038 mm betrug.

Die guten Ergebnisse bei der Kerneinbettungsmethode dürften folgende Erklärung haben: Durch das wiederholte Aufstäuben und Einrütteln von trockener Einbettmasse entsteht ein sehr dichter Kern. Da nun die Größe der Expansion von der Dichte der Einbettmasse abhängt, und zwar eine umso größere Expansion erreicht wird, je kleiner das Wasser-Pulver-Verhältnis ist, (B o n s a c k , F u s a y a m a , O e s c h g e r) wird durch die Vergrößerung der Dichte eine sehr große Expansion gewährleistet.

Bei der hygroskopischen Expansion dagegen kommt keine Verdichtung der Einbettmasse zustande, da am Wasser-Pulver-Verhältnis, das der jeweilige Hersteller der Masse angibt, nichts geändert wird. Die Expansion wird bei dieser Methode zum größten Teil durch die Hydratation des Gipses, der in der Einbettmasse vorhanden ist, erreicht (D e g n i , S c h e u , R y g e). Deshalb liegen auch die

Spaltwerte der einzelnen Einbettmassen, je nach der Menge des in der Einbettmasse enthaltenen Gipses nicht so beisammen, wie dies bei der Kerneinbettung der Fall ist.

Nämlich 0,030 mm Spaltbreite bei Beauty Cast
0,056 mm Spaltbreite bei CM Nr. I
0,090 mm Spaltbreite bei Duroterm
0,177 mm Spaltbreite bei Gray Investment

Bei der Kerneinbettmethode lagen die Werte viel näher beisammen:

0,010 mm Spaltbreite bei CM Nr. I
0,015 mm Spaltbreite bei Beauty Cast
0,027 mm Spaltbreite bei Duroterm
0,040 mm Spaltbreite bei Gray Investment

Von den drei Expansionsmethoden schnitt die thermische Methode mit folgenden Werten am schlechtesten ab:

0,065 mm Spaltbreite bei Beauty Cast
0,099 mm Spaltbreite bei CM Nr. I
0,173 mm Spaltbreite bei Duroterm
0,221 mm Spaltbreite bei Gray Investment

Es entspricht also der beste Wert bei der thermischen Expansionsmethode ungefähr dem schlechtesten Wert der Kerneinbettungsmethode. Da die Einbettmasse bei der thermischen Methode weder verdichtet wird, noch eine hygroscopische Expansion auftritt, ist es klar, daß bei ihr in Vergleich zu den anderen Methoden die schlechtesten Ergebnisse zu finden sind.

Zu den gleichen Ergebnissen kommt auch P i n k - b e i n e r . Er maß bei der Kerneinbettung eine Schwindung von 0,070 %, bei der Wasserbadeinbettung 0,276 % und bei der Einbettung der Muffel mit Asbestauskleidung 0,488 %. Er erreicht also mit der Kerneinbettung die beste Paßgenauigkeit. Dann folgen bei ihm genau wie in unserer Arbeit die Wasserbadeinbettung und die thermische Expansionsmethode.

Vergleicht man jetzt nicht die verschiedenen Methoden

sondern die verschiedenen Einbettmassen, so erhält man folgende Ergebnisse: Den besten Wert mit 0,037 mm durchschnittlicher Spaltbreite erhält man bei "Beauty Cast". "CM Nr. I" hat einen mittleren Spaltwert von 0,059 mm, "Duroterm" einen von 0,097 mm und "Gray Investment" einen von 0,114 mm.

Die Expansion fällt also ab von "Beauty Cast", das die beste Expansion zeigt, über "CM Nr. I" und "Duroterm" bis "Gray Investment".

Die beste Expansionsart ist bei allen Massen die Kerneinbettung. Das Problem für Fachuntersuchungen der Kerneinbettung besteht in der Unmöglichkeit sie exakt zu reproduzieren, da bei ihr die verwendeten Materialien nie genau abzuwiegen sind. Die Menge der aufzustäubenden Einbettmassen ist abhängig von dem Wasser-Pulver-Verhältnis der zuerst auf das WachsmodeLL aufgetragenen Einbettmasse, ihrer Gesamtmenge, ferner von der Art des Einrüttelns. Daher wird es auch immer wieder, selbst wenn ein und derselbe den Einbettungsvorgang unter annähernd denselben Bedingungen vornimmt, zu unterschiedlichen Materialverbrauch kommen. Die Grundregeln sind daher zu beachten und zwar: Masse für den Kern anrühren nach Vorschrift der jeweiligen Firma, dann Aufstäuben von Einbettmasse und Einrütteln derselben solange, bis kein Pulver mehr aufgenommen wird.

Die zweitbeste Expansionsart ist die hygroskopische Expansion, die schlechtesten Werte zeigt jeweils die thermische Expansion.

Die Spaltbreiten bei Degulor A sind in den überwiegenden Fällen bei der gleichen Einbettmasse und der gleichen Einbettmethode etwas größer als bei Silca. Dies liegt an der ungleichen Erstarrungskontraktion dieser beiden Metalle. Nach Angabe der Degussa ist nämlich das Schwindmaß bei Silca mit 1,3 % niedriger als das bei den Degulorlegierungen, das bei 1,5 % bis 1,6 % liegt.

Aus der Diskussion der Ergebnisse lassen sich folgende Schlüsse ziehen: Legt man zugrunde, daß eine genügende

klinische Präzision erreicht ist, wenn die Spaltbreite nicht über 50 μ beträgt, so sind folgende Methoden bei Verwendung der gegebenen Einbettmassen zur Herstellung einer ausreichend genauen Krone möglich:

- 1) die Kerneinbettungsmethode für alle verwendeten Einbettmassen,
- 2) die hygroskopische Expansionsmethode für "Beauty Cast".

Nicht möglich sind:

- 1) die thermische Expansionsmethode für alle verwendeten Einbettmassen,
- 2) die hygroskopische Expansionsmethode für die Einbettmassen "CM Nr. I", "Duroterm" und "Gray Investment".

Die besten Resultate erzielt man also immer noch mit der Kerneinbettung. Die hygroskopische Expansion sollte man nur bei Einbettmassen ausnützen, die speziell für die hygroskopische Expansion geeignet sind, wie z.B. "Beauty Cast".

Abzulehnen wäre mit den verwendeten Einbettmassen die reine thermische Expansionsmethode.

9.) ZUSAMMENFASSUNG

=====

Nach Darstellung eines kurzen historischen Überblicks über die Entwicklung und Methoden der Gußtechnik wurden in der vorliegenden Arbeit unter Verwendung von 4 handelsüblichen Einbettmassen Methoden überprüft, um passende Kronen herzustellen.

Es wurden dabei die Kerneinbettungsmethode, die hygroskopische Expansionsmethode und die reine thermische Expansionsmethode angewandt.

Legt man dabei zugrunde, daß eine genügende klinische Präzision erreicht ist, wenn eine Spaltbreite von 0 - 50 μ nicht überschritten wird, so ist die Kerneinbettungsmethode bei allen verwendeten Einbettmassen möglich, die hygroskopische Expansionsmethode nur bei "Beauty Cast". Nicht möglich ist die thermische Expansionsmethode für alle verwendeten Einbettmassen und die hygroskopische Expansionsmethode für die Einbettmassen "CM Nr. I", "Duroterm" und "Gray Investment".

Man erzielt also immer noch die besten Resultate mit der Kerneinbettung. Die hygroskopische Expansion sollte nur bei Einbettmassen ausgenutzt werden, die speziell für die hygroskopische Expansion geeignet sind. Die reine thermische Expansionsmethode ist mit den verwendeten Einbettmassen nicht möglich.

Die in dieser Arbeit gefundenen Ergebnisse gelten nur für den Guß von Kronen, die einen Zahn- oder Wurzelstumpf voll umfassen, wie z.B. Vollgußkronen und Wurzelköppchen. Für den Guß von Inlays und Halbkronen gelten andere Gesetzmäßigkeiten.

10.) LITERATURANGABEN:

=====

- Anske, U. zit. n. Beeck K.H. Prüfungsergebnisse
zahnärztlicher Gußverfahren und ihre
praktische Auswertung.
Dtsch.zahnärztl.Z. 13, 472 (1958)
- Appel, E. Über Expansion und Kontraktion von
Goldlegierungen und ihr Ausgleich beim
Guß durch entsprechende Maßnahmen.
Med.Diss.München 1938
- Bardet zit. n. Oeschger H. Vergleichende
Untersuchungen über das Einbetten mit
im Vakuum von Luftblasen befreiter
Einbettmassen.
Dtsch.Zahn-,Mund- u.Kieferheilk.
22, 214 (1955)
- Beeck, K.H. Prüfungsergebnisse zahnärztlicher Guß-
verfahren und ihre praktische Auswertung.
Dtsch.zahnärztl.Z. 8, 11, 78, (1952)
- Bonsack, Ch. Der heutige Stand des Gußproblems
Dtsch.zahnärztl.Z. 8, 11, 78, (1952)
- Cosmann, M. Zum Verständnis der thermischen
Expansion von Einbettmassen.
V.jschr.f. Zahnheilk. 50, 48-73 (1934)
- Coy, H.D. A review of inlay casting technics.
J.A.D.A. 21, 2177-2185 (1934)
- Degni, F. The Hygroscopic Setting Expansion of a
Dental Casting Investment.
Thesis Northwestern University Dental
School 1946.

- Degussa Schreiben vom 10.5.1963
- Docking, A.R. zit. n. Feinmann P. Zahnärztliche Einbettungsmethoden und Gußprobleme. Med.Diss. Düsseldorf 1958
- Dreyer-Jorgensen, K. Prüfungsergebnisse zahnärztlicher Gußverfahren.
Prothetik und Werkstoffkunde.
Viertelj.Beilage zur Dtsch.zahnärztl.Z. 7, 462 (1958)
- Eichner, K. Leitfaden Zahnärztlicher Werkstoffe und Ihrer Verarbeitung.
Berlinische Verlagsanstalt G.m.b.H.
Berlin West 1960 27-37, 187-193
- Eigen, M. Casting without a ring.
The Dental Digest 44, 257 (1938)
- Elgin zit. n. Oeschger H. Vergleichende Untersuchungen über das Einbetten mit im Vakuum von Luftblasen befreiter Einbettmassen.
Dtsch.Zahn-, Mund- u. Kieferheilk. 22, 214 (1955)
- Falck, K.-Weikart, P. Werkstoffkunde für Zahnärzte.
Carl Hanser Verlag München 1959
176-183
- Feinmann, P. Zahnärztliche Einbettungsmethoden und Gußprobleme.
Med.Diss. Düsseldorf 1958
- Finkbeiner, K. Der Einfluß unterschiedlicher Behandlung der Einbettmasse auf das Endmaß des Gußstückes.
Dtsch.zahnärztl.Z. 21, 498-500 (1966)

- Fusayama, T. Technical Procedure of Precision Casting.
J.prosth.Dent., 2, 1045 (1959)
Influences of clinical Variables on a
Cristobalite Investment.
J.prosth.Dent., 11, 155 (1961)
- Goslee, H.T. zit. n. Feinmann, P. Zahnärztliche
Einbettungsmethoden und Gußprobleme.
Med.Diss. Düsseldorf 1958
- Grassl, J.F. Verbesserung der Oberfläche von Güssen
durch Netzmittel und Vakuumeinbettung.
Dtsch.zahnärztl.Z. 9, 1064 (1954)
- Hollenback, G.M. Further Light on Dimensional Casting.
J.S.Calif.dent.Ass., 30, 341 (1962)
- Van Horn, C.S. zit. n. Feinmann P. Zahnärztliche Ein-
bettungsmethoden und Gußprobleme.
Med.Diss. Düsseldorf 1958
- Joy, A.W. zit. n. Bonsack Ch. Der heutige
Stand des Gußproblems.
Dtsch.zahnärztl.Z. 8, 78 (1953)
- Kubasch, W. Über die Technik des Präzisionsgusses 3
- Landgren, N. u. Hygroscopic expansion of some
Peyton, F.A. casting investments.
J.Dent.Res. 35, 499-481 (1950)
- Mahler, D.B. zit. n. Feinmann P. Zahnärztliche Ein-
bettungsmethoden und Gußprobleme.
Med.Diss. Düsseldorf 1958
- Maves, T.W. zit. n. Bonsack Ch. Der heutige
Stand des Gußproblems.
Dtsch.zahnärztl.Z. 8, 8 (1955)

- Moore, T.E. Resume of the expansion required to
compensate for casting gold shrinkage.
J.prosth.Dent. 2, 550-556 (1952)
- Oeschger, H. Vergleichende Untersuchungen über das
Einbetten mit im Vakuum von Luftblasen
befreiter Einbettmassen.
Dtsch.Zahn-,Mund- u. Kieferheilk.
22, 208-228 (1955)
- Ollendorf zit. n. Roches J.P. Untersuchungen über
zahnärztliche Schmelz- und Gußverfahren.
Med.Diss. Bern 1946
- Phillips, R.W. zit. n. Bonsack Ch. Der heutige Stand
des Gußproblems.
Dtsch.zahnärztl.Z. 8, 15 (1953)
- Prothero, J.H. zit. n. Feinmann P. Zahnärztliche Einbett-
ungsmethoden und Gußprobleme.
Med.Diss. Düsseldorf 1958
- Riethe, P. Über den Einfluß verschiedener Abdruck-
materialien und Modellwerkstoffe auf die
Paßgenauigkeit von MOD-Gußfüllungen.
Dtsch.zahnärztl.Z. 8, 15 (1953)
- Roches, J.P. Untersuchungen über zahnärztliche
Schmelz- und Gußverfahren.
Med.Diss. Bern 1946
- Ryge, G. Hygroscopic expansion.
J. Dent. Res. 35, 499-508 (1956)
- de Sarran, A. zit. n. Roches J.P. Untersuchungen über
zahnärztliche Schmelz- und Gußverfahren.
Med.Diss. Bern 1946

- Saville, M.H. zit. n. Feinmann P. Zahnärztliche Einbettungsmethoden und Gießprobleme. Med.Diss. Düsseldorf 1958
- Scheu, C.H. A new Precision Casting Technic. J.A.D.A. 19, 630-635 (1932)
- Schubert, L. Expansionsgussverfahren und Untersuchungen über ihren praktischen Wert. Dtsch.zahnärztl.Wschr. 35, 70 (1932)
- Schwindling, R. Untersuchungen der Oberflächen-Feinstruktur von Metallgüssen bei verschiedener Einbettungsart unter Vakuum. Zahnärztl.Rdsch. 64, 477-485 (1955)
- Siong Han, D. zit. n. Schubert L. Expansionsgussverfahren und Untersuchungen über ihren praktischen Wert. Dtsch.zahnärztl.Wschr. 35, 70-73 (1932)
- Solbrig zit. n. Roches J.P. Untersuchungen über zahnärztliche Schmelz- und Gussverfahren. Med.Diss. Bern 1946
- Taege, H. Untersuchungen über die hygroskopische Expansion von Einbettmassen. Dtsch.zahnärztl.Z. 13, 116-120 (1958)
- Taggart, W.H. A new and accurate method of making gold Inlays. Dent.Cosmos 49, 1117-1121 (1907)
- Uhlenhut zit. n. Oeschger H. Vergleichende Untersuchungen über das Einbetten mit im Vakuum von Luftblasen befreiter Einbettmassen. Dtsch.Zahn-,Mund- u.Kieferheilk. 88, 22, 215 (1955)

- Weikart, P. Zum Thema Präzisionsguß.
Zahnärztl.Welt 10, 90 (1955)
Grenzen und Prüfung der Gußgenauigkeit.
Prothetik und Werkstoffkunde.
Beilage zur Dtsch.zahnärztl.Z.
6, 897-904 (1957)
- Wood, J. zit. n. Oeschger H. Vergleichende
Untersuchungen über das Einbetten
mit im Vakuum von Luftblasen befreiter
Einbettmassen.
Dtsch.Zahn-, Mund- u.Kieferheilk.
22, 209 (1955)

Am Schluß meiner Arbeit möge es mir gestattet sein, Herrn Professor Dr. Dr. O. Bock für die Überlassung des Themas und die im Laufe der Arbeit in reichem Maße erteilten Ratschläge und Anregungen meinen ganz besonderen Dank auszusprechen.

Herrn Professor Dr. Dr. Steinhardt danke ich für das Überlassen eines Arbeitsplatzes.

LEBENS LAUF

=====

Am 13.3.1939 wurde ich als erster Sohn des Zahnarztes Dr. Robert Unbehauen und seiner Ehefrau Helene, geb. Hopfmann, in Nürnberg geboren. Meine Jugendzeit verbrachte ich in Langenzenn, wo mein Vater seine Praxis ausübte.

Nach dem Besuch der Volksschule in Langenzenn von September 1945 bis Juli 1949 trat ich an das Humanistische Gymnasium in Fürth über. Im September 1953 wechselte ich an das Deutsche Gymnasium in Schwabach. Dort legte ich im Juli 1959 das Abitur ab.

Ab Wintersemester 59/60 studierte ich an der Universität Erlangen-Nürnberg Zahnheilkunde. Das zahnmedizinische Physikum bestand ich am 15.5.1962 mit der Note "gut". Nach einem weiteren 5-semestri- gem Studium in Erlangen legte ich am 18.5.1965 das zahnmedizinische Staatsexamen mit der Note "gut" ab.

Ich nahm dann die Stelle eines Verwalters einer wissenschaftlichen Assistentenstelle in der Abteilung für Chirurgie an der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkranke in Erlangen an, wo ich mich bis jetzt noch befinde.

Offsetdruck - Fotodruck

Josef Hogl

8520 Erlangen, Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz.) Tel. 22990

Offsetdruck - Fotodruck

- J. Hogl, 8520 Erlangen, Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz) Telefon 22990 -